

## 高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究プロジェクト

関西大学 正会員 坂野昌弘

### 1. はじめに

国土交通省大阪国道事務所管内には、昭和初期に建設され、既に80年以上供用され続けて高齢化を迎えた橋梁が数橋存在する。昭和40年代の団塊の世代の橋梁群とは材料も構造特性も異なり、しかも記録がほとんど残っていないこれらの橋梁に対しても長寿命化対策を進めていく必要がある。

本プロジェクトは、新都市社会技術融合創造研究会<sup>1)</sup>の活動の一環として、これらの高齢化橋梁の中で特に重要な路線に架設され、また周辺の土地利用状況等から架け替えが困難な長大橋梁を対象として現状を把握し、健全性の評価・診断を行い、予防保全も含めた最適な補修・補強対策を提案し、その効果を検証した上で今後100年以上の長寿命化を目指した維持管理方針案を策定することを目的とする。

### 2. 研究計画

- (1) 平成22年度：昭和初期に建設され、高齢化を迎えた長大トラス橋を対象として、各部材の健全性を評価・診断し、解析や実験によりそれらの劣化挙動を推定して、橋梁全体の劣化シナリオを作成する。写真1に対象橋梁外観を、また、写真2にトラス主構、写真3に床組部材の状況を示す。
- (2) 平成23年度：その劣化シナリオに対して、解析や実験により、長寿命化をはかるための予防保全を含めた最適な補修・補強対策を検討する。
- (3) 平成24年度：以上の検討結果から、最適な補修・補強対策を提案し、実橋においてそれらの効果を検証した上で今後100年以上の長寿命化をめざした維持管理方針案を策定する。



写真1 対象橋梁外観



写真2 主構トラス



写真3 床組の状況

---

キーワード 高齢化、長大トラス橋、健全度評価、長寿命化

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35 関西大学 環境都市工学部 TEL06-6368-0850

### 3. 平成 22 年度の成果

昭和初期に建設され、高齢化を迎えた長大トラス橋を対象として、非破壊検査等によって各部材の健全性を評価・診断し、橋梁全体の劣化シナリオを作成した。さらに、その劣化シナリオを検証するために疲労実験やFEM 解析を行った。

#### (1) 非破壊検査

非破壊検査により、疲労弱点部(主構ガセット、主構の補修・補強部、横桁、縦桁)のき裂等の調査を行った<sup>2),3)</sup>。また、応力計測により橋梁各部(疲労弱点部)の余寿命を推定した<sup>4)</sup>。

写真 4~6 に非破壊検査に用いた装置と画像の例を示す。

#### (2) 劣化シナリオの作成

非破壊検査等の結果から橋梁全体の劣化シナリオを作成した。

#### (3) 当板溶接補修部を有する鋼桁試験体の疲労実験

実物を模擬した鋼桁試験体を用いて疲労実験を行い、当板溶接補修部の疲労耐久性について検討した<sup>5)</sup>。

#### (4) FEM による全体挙動の解析

有限要素法による立体骨組みモデルを作成し、このような上路トラス橋の現況での耐力評価および疲労寿命評価を行うとともに部材破断による漸次破壊(Progressive Failure)の挙動を追跡し、当該橋梁の安全性について解析的に検討した。

### 4. 研究体制

[産]日本橋梁建設協会：佐合大、夏秋義広(幹事)。

建設コンサルタンツ協会近畿支部：廣瀬彰則、倉田豊、坪本正彦、神原康樹。

日本非破壊検査工業協会：岩井直直、河野謙、森本量也。

海洋架橋橋梁調査会：酒井徹。

阪神高速道路：杉岡弘一。

[官]国土交通省近畿地方整備局

道路部：橋本拓巳、宇佐美光博、小丸博司。

大阪国道事務所：藤本昭彦、河合良治、増田寛四郎(幹事)  
鈴木時彦、新本哲也。

近畿技術事務所：吉村貞孝、菅沼忠男、藤井恒二郎。

[学]関西大学：坂野昌弘(プロジェクトリーダー)。

京都大学：宇都宮智昭(幹事長)



写真 4 携帯式 X 線装置

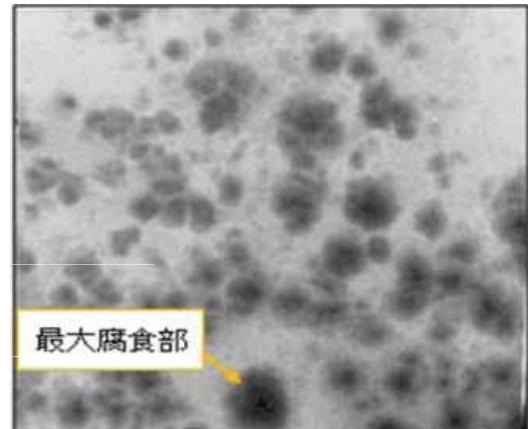


写真 5 板材の腐食画像例



写真 6 溶接部のき裂の画像例

### 参考文献

- 1) <http://www.kkr.mlit.go.jp/road/shintoshikenkyukai/index.html>
- 2) 新幸、河野、増田、坂野：淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析、第 66 回年次学術講演会、2011. 9.
- 3) 夏秋、河野、増田、坂野：淀川大橋の腐食状況調査、第 66 回年次学術講演会、2011. 9.
- 4) Ichinose, 増田, 坂野：淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定、第 66 回年次学術講演会、2011. 9.
- 5) 水野他：当板溶接補修部を有する鋼桁試験体の疲労実験、第 66 回年次学術講演会、2011. 9.

## 淀川大橋の腐食状況調査

日本橋梁建設協会	正会員 ○夏秋 義広
日本非破壊検査工業会	非会員 河野 譲
国土交通省 近畿地方整備局	非会員 増田 寛四郎
関西大学 環境都市工学部	正会員 坂野 昌弘

### 1. はじめに

高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究において、約85年間供用されている淀川大橋のトラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の腐食、劣化状況を把握するために、本橋梁の代表的箇所に対して各種非破壊検査を実施した。本稿では調査項目の内、腐食量と付着塩分量について述べる。

### 2. 対象橋梁の概要

対象橋梁は1926年竣工の幅員20.8m、橋長723.3m、30径間（中央部6径間鋼単純トラス6@32.918m）を有する橋梁であり、京阪神間の重交通を支える主要国道の2号線に位置し、海岸から約5.5km地点に掛る橋である。

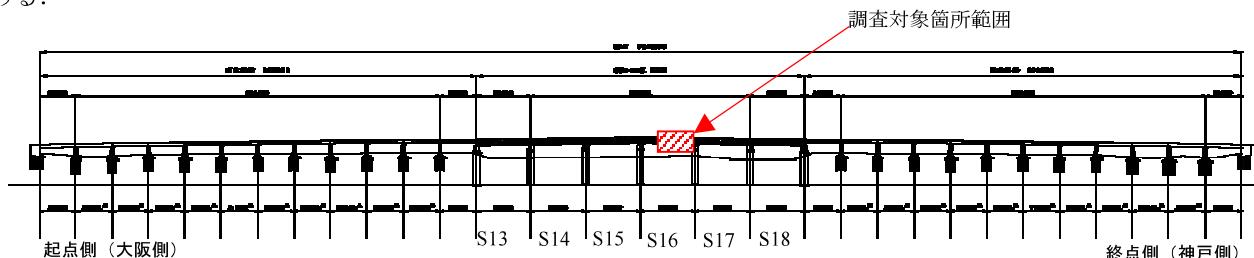


図1. 調査対象橋梁

### 3. 非破壊検査方法

#### 3.1 板厚測定

トラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の中から、目視検査で補修、補強箇所（修繕工事：1959年施工）および塗装剥離（塗装：1991年施工）と腐食の著しい箇所を選定して、超音波厚さ計を用いて各部材の板厚を測定した。

#### 3.2 付着塩分測定

トラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の中から、目視検査で主構トラス上部・下部、外・内桁、外・内向きなどの位置パラメータを考慮して、測定箇所を選定し、ポータブル表面塩分計を用いて各部材の付着塩分濃度を測定した。

### 4. 測定結果

#### 4.1 板厚測定結果

腐食の傾向としては局部的で、主構トラスの斜材（下弦材側）に深さ約4mmの局部腐食が見られた（図2）。斜材内面ダイヤフラム上に堆積した鳥糞が腐食の原因になったと考える。また、ジョイント部近傍の上弦材縦桁端部では漏水の影響で塗装の劣化剥離が著しく、縦桁端部の腹板では、板厚7.6mmを貫通する局部腐食が見られた（図3）。

#### 4.2 付着塩分測定結果

付着塩分濃度（表1、図4）は、主構上部では、雨水などによって洗浄されやすい外桁外面（測定点上①）以外の測定点（上②～上⑥）では高い塩分濃度（4,528～6,292mg/m<sup>2</sup>）が測定された。下弦材側の測定点については、最大塩分濃度、1,116mg/m<sup>2</sup>（測定点下②）が測定され、下弦材側の外桁外面（測定点下④）で最も低い値（49.8 mg/m<sup>2</sup>）を示した。

キーワード 腐食、健全度診断、非破壊検査、付着塩分、トラス橋

連絡先 〒550-0005 大阪市西区西本町1-8-2 三晃ビル5F（社）日本橋梁建設協会 近畿事務所 TEL: 06-6533-3238

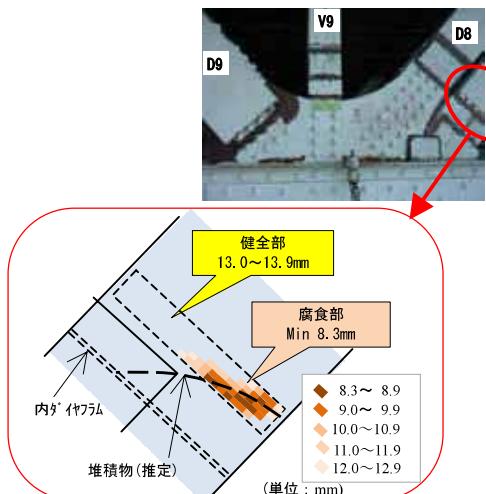


図2. 斜材（下弦材側）板厚測定結果の一例

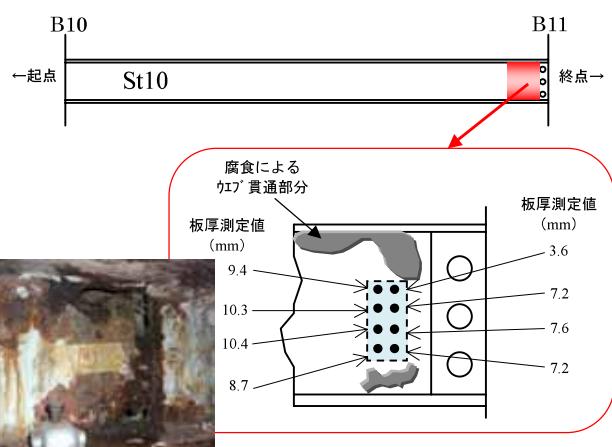


図3. 縦桁端部腐食部の板厚測定結果

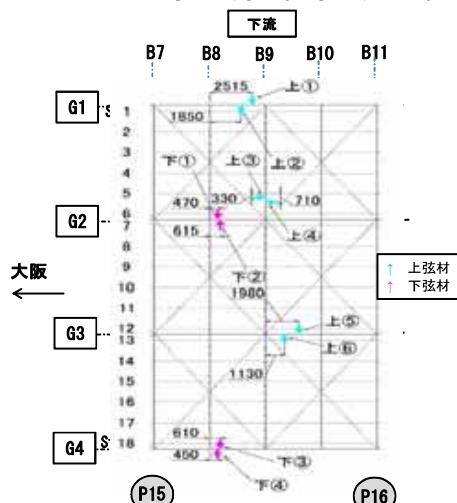


図4. 付着塩分測定位置

位置パラメータと関連付けた測定値の傾向としては、橋梁部材の外面側より内面側、下流側より上流側、床板に近い部材（主構上部）程、塩分濃度が高い傾向が見られた。

本橋梁では、この数年間凍結防止剤が散布されていないため、付着塩分量を飛来塩分として評価できる。三国大橋の資料<sup>1)</sup>に基づいて、経過年数から図5の付着塩分量を読み取ると約6,000mg/m<sup>2</sup>になり、本橋梁で測定した付着塩分濃度と同程度である。腐食量も図6から同様に読み取ると約2.8mm（洗浄なし）になり、付着塩分量が高い上弦材側の塗装剥離箇所での腐食量とやはり同程度である。なお、図5、図6を求めた三国大橋は、福井県の河口から4.5kmに位置している。

## 5.まとめ

腐食の進展状況は塗装の経年劣化、剥離や漏水および付着塩分濃度が要因して考えられる。本橋梁の場合は補修塗装後約20年が経過しており各部に劣化剥離や発錆が見られ、漏水箇所以外では、特に付着塩分濃度の高い上弦材側でその傾向が顕著に表れている。

## 参考文献

- 北嶋浩、宮本重信、奥村茂：海塩粒子が飛来する鋼橋の洗浄における防錆、福井県雪対策・建設技術研究 所年報地域技術第22号、pp.43-45、2009.8

測定位置	部材名	水可溶性塩分濃度 (mg/m <sup>2</sup> )	電気伝導率 (μS/cm)	温度 (℃)
上①	G1・上弦材下流側 (B8~B9)	120.5	30.1	4.6
上②	G1・上弦材上流側 (B8~B9)	1999< (4528)	1132	4.8
上③	B9・上弦材起点側 (St5~St6)	1999< (5576)	1394	5.4
上④	B9・上弦材終点側 (St5~St6)	1999< (6292)	1573	5.6
上⑤	G3・上弦材下流側 (B9~B10)	1999< (5416)	1354	4.8
上⑥	G3・上弦材上流側 (B9~B10)	1999< (5488)	1372	5.3
下②	G2・下弦材上流側 (B8~B9)	1116	279	3.4
下③	G4・下弦材下流側 (B8~B9)	826	206	3.5
下①	G2・下弦材下流側 (B8~B9)	404	101.1	3.1
下④	G4・下弦材上流側 (B8~B9)	49.8	12.4	3.8

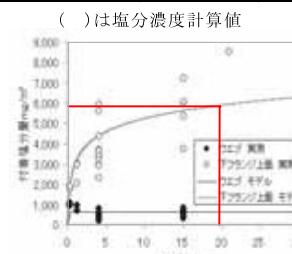


図5. 付着塩分量の経年変化

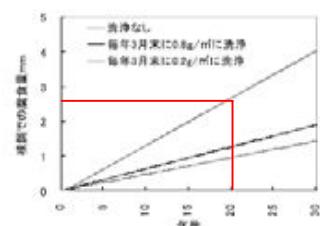


図6. 裸鋼の腐食量経年変化

## 淀川大橋補修溶接部の非破壊検査および成分分析

日本非破壊検査工業会	正会員 ○新幸 弘行
日本非破壊検査工業会	非会員 河野 譲
国土交通省 近畿地方整備局	非会員 増田 寛四郎
関西大学環境都市工学部	正会員 坂野 昌弘

### 1.はじめに

高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究において、約85年間供用されている本橋梁のトラス橋部の主構部材および横桁や縦桁のき裂の有無および材質状況を把握するために、本橋梁の代表的箇所に対して非破壊検査および化学成分分析を実施した。

### 2.対象橋梁の概要

対象橋梁は1926年竣工の幅員20.8m、橋長723.3m、30径間（中央部6径間鋼単純トラス 6@32.918m）を有し、京阪神間の重交通を荷う主要国道の2号線を支え、海岸から約5.5km地点に位置する橋<sup>1)</sup>である。

### 3.非破壊検査方法および成分分析

#### 3.1 磁粉探傷試験およびマクロ・ミクロ組織試験

トラス橋部の主構部材および横桁や縦桁の中から、目視検査で補修・補強溶接部（修繕工事：1959年施工）を選定して磁粉探傷試験を適用し、欠陥を検出した箇所に対してその詳細を調べるためにマクロ・ミクロ組織試験を実施した。

#### 3.2 X線透過試験

トラス橋部の主構部材の中から目視検査で補修・補強箇所（修繕工事：1959年施工）を選定して、X線透過試験（工業用デジタル画像処理システム）を行い、補修・補強溶接部の内在欠陥の検出を試みた。

#### 3.3 化学成分分析

トラス橋部の主構部材および縦桁の中から、目視検査で旧部材と新部材（修繕工事：1959年施工）から部材の選定をおない、サンプルを採取して鉄鋼5元素(C, Si, Mn, P, S)および溶接硬化性元素(Cu, Ni, Cr, Mo, V)の化学成分分析を行った。

### 4.試験結果

#### 4.1 磁粉探傷試験およびマクロ・ミクロ組織試験

トラス橋部の主構垂直材と縦桁の母材部および横桁の当板補強溶接部に欠陥を検出した。主構垂直材と縦桁母材部の欠陥は製造時(圧延時)の介在物(図2)と考えられる。一方、横桁の当板補強溶接部の欠陥は下フランジ切欠き縁のすみ肉溶接部から発生したき裂であり、先端(図3)は腹板まで伸びている。

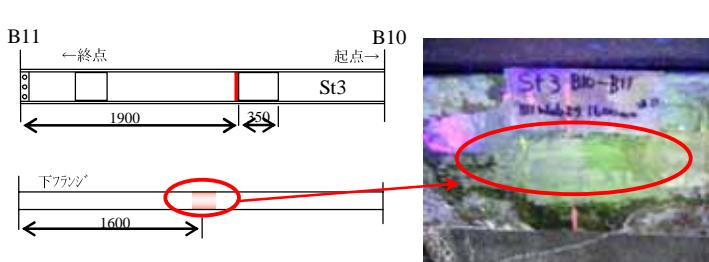


図2. 縦桁介在物

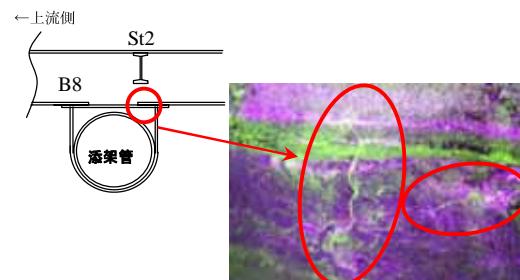


図3. 横桁フランジ当板補強部

#### 4.2 X線透過試験

トラス橋部の主構トラス斜材部の補修、補強箇所（修繕工事：1959年施工）は既設材に新設材を突合せ溶接し、その上に当板を溶接した構造になっている。また、主構垂直材は既設材と新設材を突合せ溶接した構造になっている。X線透過試験（工業用デジタル画像処理システム）を用いて撮影箇所全ての画像解析を行った結果、主構トラス斜材の突合せ溶接部に不溶着部や融合不良等の内在欠陥（図4）、主構垂直材の突合せ溶接部にブローホールや融合不良等の内在欠陥（図5）を検出した。

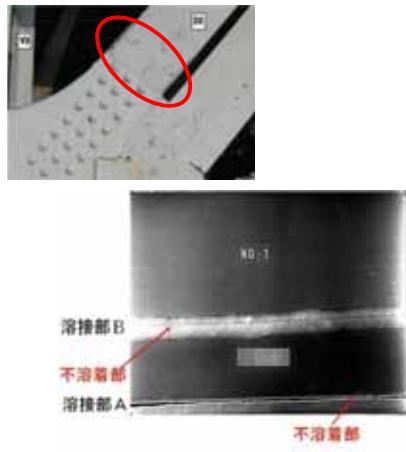


図4. 斜材突合せ溶接部（不溶着・融合不良）

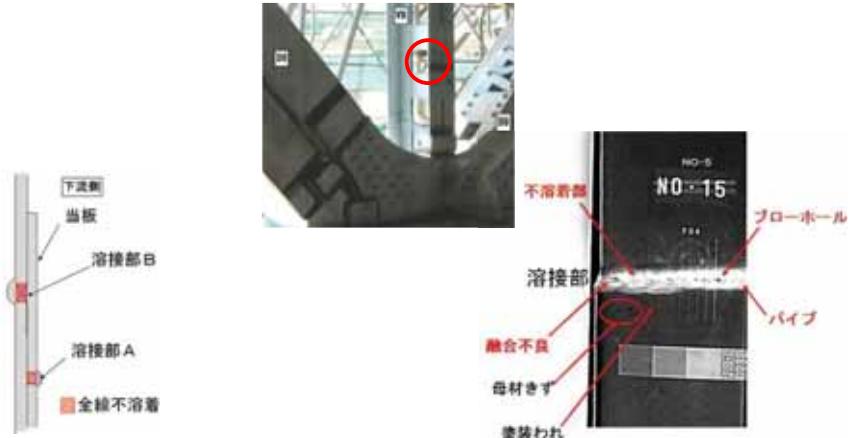


図5. 鉛直材突き合わせ溶接部（ブローホール・融合不良）

#### 4.3 化学成分分析

化学成分分析結果は表1に示すが、縦横腹板の既設材はC含有量に極端に低く（現在SM材の1/6～1/8程度）、不純物元素のPやS量が非常に多い（2倍から3倍）材料である。斜材についても、C含有量は現在のSM400Aに近い値になっているが（約80%）、Sの値は2倍程度の値を示している。

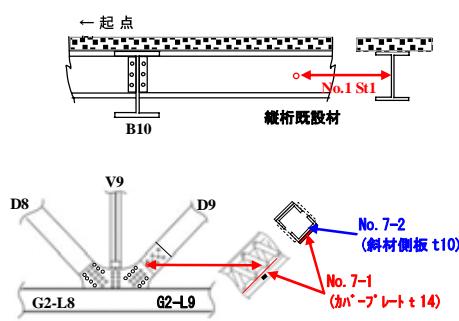


図6. 化学成分分析箇所

表1 化学成分分析結果

部材名	分析値	化学成分(wt%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
縦横 腹板	No.1 St1 (B10-B11間)	0.031	<0.01	0.39	0.045	0.059	0.03	0.03	0.01	<0.02	<0.002
	No.2 St1 (B9-B10間)	0.044	<0.01	0.48	0.11	0.09	0.03	0.04	0.04	<0.02	<0.002
斜材	No.7-1 G2-D9 (かべーブレット)	0.19	0.03	0.64	0.036	0.061	0.04	0.14	0.11	<0.02	<0.002
	No.7-2 G2-D9 (斜材側板)	0.18	<0.01	0.48	0.022	0.065	0.38	0.02	0.02	<0.02	<0.002
JIS SM400A	<0.23	-	>2.5×C	<0.035	<0.035	-	-	-	-	-	

#### 5.まとめ

横桁のき裂や斜材部の突合せ溶接部に検出した断面欠損率が大きな不溶着部は、負荷応力に直行する欠陥であり、早急な対応が必要である。

また、本橋梁はリベット構造で溶接性が考慮された鋼材ではないため、不純物量が極めて多いため、溶接時の高温割れ、硫黄割れ等が懸念されるので、今後の補強・補修工事においては配慮が必要と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 夏秋、河野、増田、坂野：淀川大橋の腐食状況調査、第66回年次学術講演会論文集、2011.9

## 淀川大橋の動的載荷試験および応力頻度測定

日本非破壊検査工業会

正会員 ○L.H.Ichinose

国土交通省 近畿地方整備局

非会員 増田 寛四郎

関西大学環境都市工学部

正会員 坂野 昌弘

### 1. 概要

高齢化を迎えた長大橋梁の診断と長寿命化に関する研究において、約85年間供用されている本橋梁のトラス橋部の現況を把握するために一連の試験を行った。

対象橋梁は1926年に架設されており、幅員20.8m、橋長723.3mの30径間の内、中央部6径間が上路式鋼単純トラスである。2005年の調査では、本橋梁の交通量は20,000台/12時間を超え、大型混入率が12.7%の重交通の通過を示しており、古い構造には大きな負担が掛かっていると思われる。

そこで、本論文は、各部材の健全性の評価・診断を行うための資料収集を目的とした一連の試験の一環として、車両走行試験による動的載荷試験および応力頻度測定を実施した。

### 2. 測定位置

測定位置は、過去に行われた補修・補強を中心に、主構トラス部材および床組の目視検査を行い、応力集中の疑いがある箇所を選定した。測定位置は以下の図に示す。

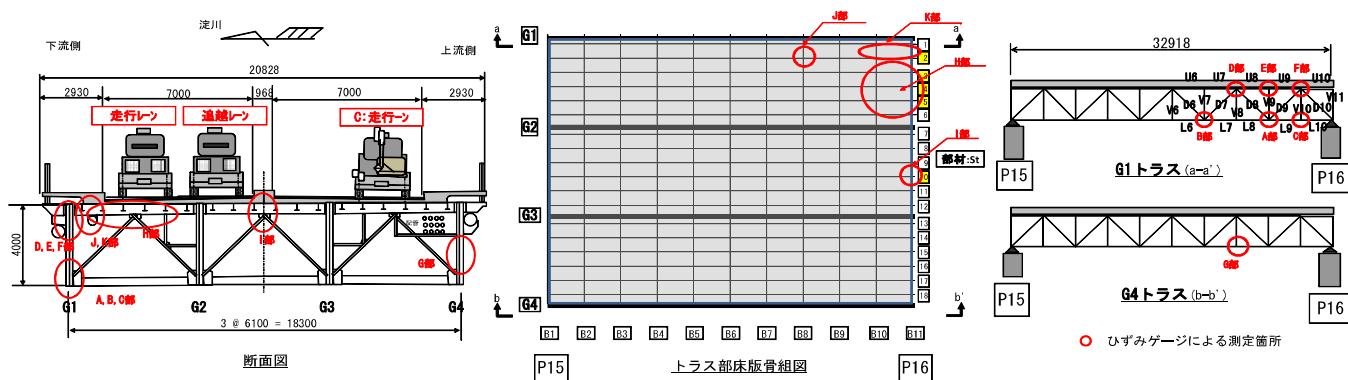


図1. 測定位置

### 3. 応力測定

#### 3.1 動的載荷試験

動的載荷試験は図2に示す試験車両を図1に示す位置を走行させ(約50km/h)、ひずみゲージによる応力測定を行った。動的載荷試験は一般車両が少なく、また気温変化の小さい時間帯である夜間に実施した。

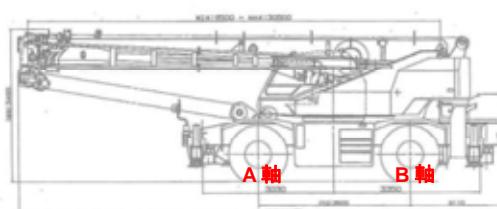
#### 3.2 応力頻度測定

応力頻度測定は耐荷力照査、疲労照査を目的として実施する。耐荷力照査については、「応力頻度測定要領(案)」<sup>1)</sup>に基づいて、一般車両通行時の72時間の記録データより応力頻度分析のピークバレー法を用いて評価した。

疲労照査については、同条件下(一般車両通行時、72時間記録)のデータよりレインフロー法を用いて累積疲労被害則(マイナー則)により疲労寿命を疲労設計曲線<sup>2)</sup>を用いて評価した。

キーワード 動的載荷試験、応力頻度測定、疲労寿命、トラス橋

連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-8-1 富高ビル3F (社)日本非破壊検査工業会 TEL.03-5207-5961



	A軸	B軸	計
軸重 (自重+乗員)	13250kg	13245kg	26495kg

図2 試験車

## 4. 試験結果

### 4.1 動的載荷試験

動的載荷試験の結果の一部を表1に表す。斜材および鉛直材の最大値は、ともに試験車下り走行レーン走行時に測定された（斜材D9,  $\sigma=13.5\text{ MPa}$ ；鉛直材V9,  $\sigma=10.7\text{ MPa}$ ）。床組についても、試験車下り走行レーン走行時に最大応力が測定された（縦桁St4,  $\sigma=6.2\text{ MPa}$ ；横桁B8,  $\sigma=14.4\text{ MPa}$ ）。

### 4.2 応力頻度測定

個々の部材において、一般車両通行時の72時間計測を行った結果の一例を図4に示す。図4は、今回の計測で測定された最大応力発生時の応力を示し、最大応力は、斜材D9上弦材側（ $\sigma=31.1\text{ MPa}$ 、引張）およびD7下弦材側（ $\sigma=24.0\text{ MPa}$ 、引張）で測定された。鉛直材の最大値については、鉛直材V9で最大引張応力、 $\sigma=19.8\text{ MPa}$ および最大圧縮応力 $\sigma=-12.88\text{ MPa}$ が発生した。

また、床組では、図4に示す通り、添加物を支えている横桁B8の補強板溶接部近傍（測定点J3）で $\sigma=31.3\text{ MPa}$ （引張）が発生し、縦桁についてはSt4で最大応力 $\sigma=21.0\text{ MPa}$ （引張）が計測された。図5に、測定点J3のヒストグラムを表す。

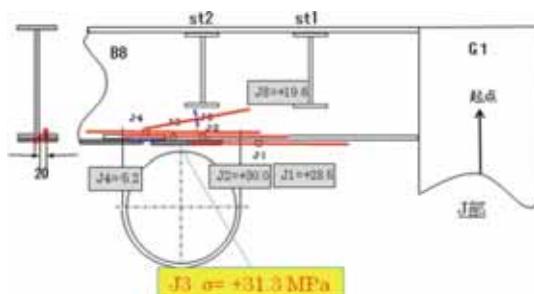


図4 応力頻度測定結果（横桁補強部、最大応力度）

相対比較のために、測定データを基に、最も低い疲労等級区分の疲労曲線（H'）を用いて算出した。個々の部材の疲労寿命は表1に示す通りであった。最も短い疲労寿命は、B8横桁の補強板溶接部近傍（図4）の522年であった。

## 5.まとめ

過去に行われた補修・補強を中心に行なった。主構トラス部材および床組の目視検査を行い、応力集中が懸念される箇所で応力測定を実施した。試験車走行による動的載荷試験および応力頻度測定を行った結果、選定した部材の内、主構トラス斜材D9およびD7の補強部付近比較的大きな応力が活荷重載荷時に発生すること分かった。また、床組では、横桁B8の補強材付近にも、比較的大きな応力が測定された。今回の計測した測定点の内、これら箇所は構造上弱点となると考えられ、早急な疲労強度特性の把握と欠陥の進展状況を確認する必要がある。

## 参考文献

- (財)道路保全技術センター：応力頻度測定要領（案），平成8年3月
- (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成14年3月

表1 動的載荷試験および応力頻度測定結果

	動的載荷試験 (MPa)	応力頻度測定 (MPa)	疲労寿命（年） (等級区分H')
斜材 D9 (引張) (圧縮)	13.5	31.1	1001
	-0.6	-1.4	
鉛直材 V9 (引張) (圧縮)	9.1	19.8	$\infty$
	-6.7	-12.8	
縦桁 St4 (引張) (圧縮)	6.2	21.0	4373
	-1.1	-1.5	
横桁 B8 (引張) (圧縮)	14.4	32.0	522
	-2.5	-5.2	

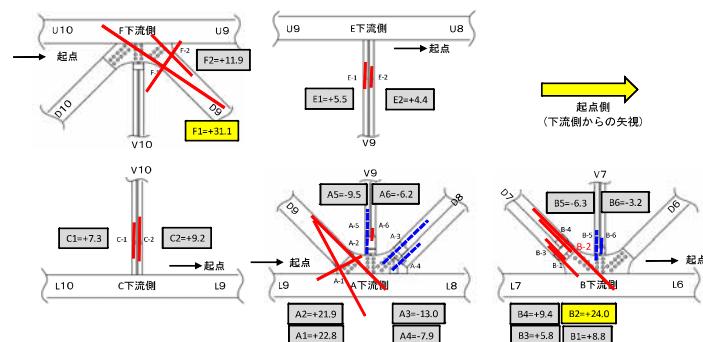


図3 応力頻度測定結果（トラス、最大応力度）

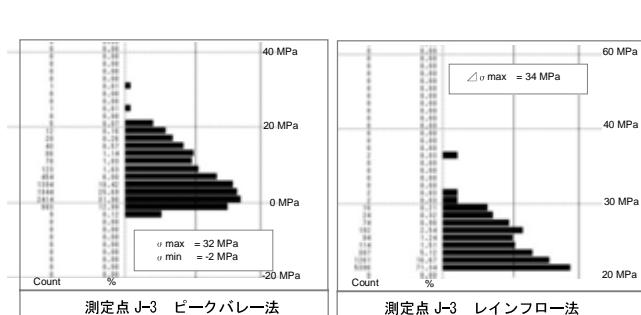


図5 測定点でのJ3ピ-クバ-レ法およびレインフロ-法

## 当板溶接補修部を有する鋼桁の疲労実験

関西大学 学生員 ○水野哲也, 山岡大輔 正会員 坂野昌弘

日本橋梁建設協会 正会員 夏秋義広

国土交通省 近畿地方整備局 非会員 増田寛四郎

## 1. はじめに

昭和初期から供用されている上路トラス橋の主構トラス部材や横桁および縦桁などに溶接による当板補修部が存在する。それらの補修部は、損傷部分を切り取った後で切り取り部を覆うように鋼板を当てがい、鋼板の周囲と切り取り部の縁をすみ肉溶接で接合している状況である。このような溶接継手部は当然ながら疲労設計指針<sup>1)</sup>にも見られず、疲労強度が著しく低い可能性がある。そこで本研究では、そのような当板溶接補修部を模擬した鋼桁試験体を用いて疲労試験を行い、当板溶接補修部の疲労強度特性を把握する。

## 2. 実験方法

## 2. 1 試験体の形状と寸法およびひずみゲージ貼付位置・載荷位置

図1に縦桁試験体(S2)の形状と寸法およびひずみゲージ貼付位置・載荷位置を示す。全長3200mm、桁高300mmで実物に近いI形鋼を用い、鋼材はすべてSS400を使用した。また、ウェブの一部をガス切断で切り取りその切り取り部の片面に鋼板を当て、実橋と同様にすみ肉溶接で取り付けている。

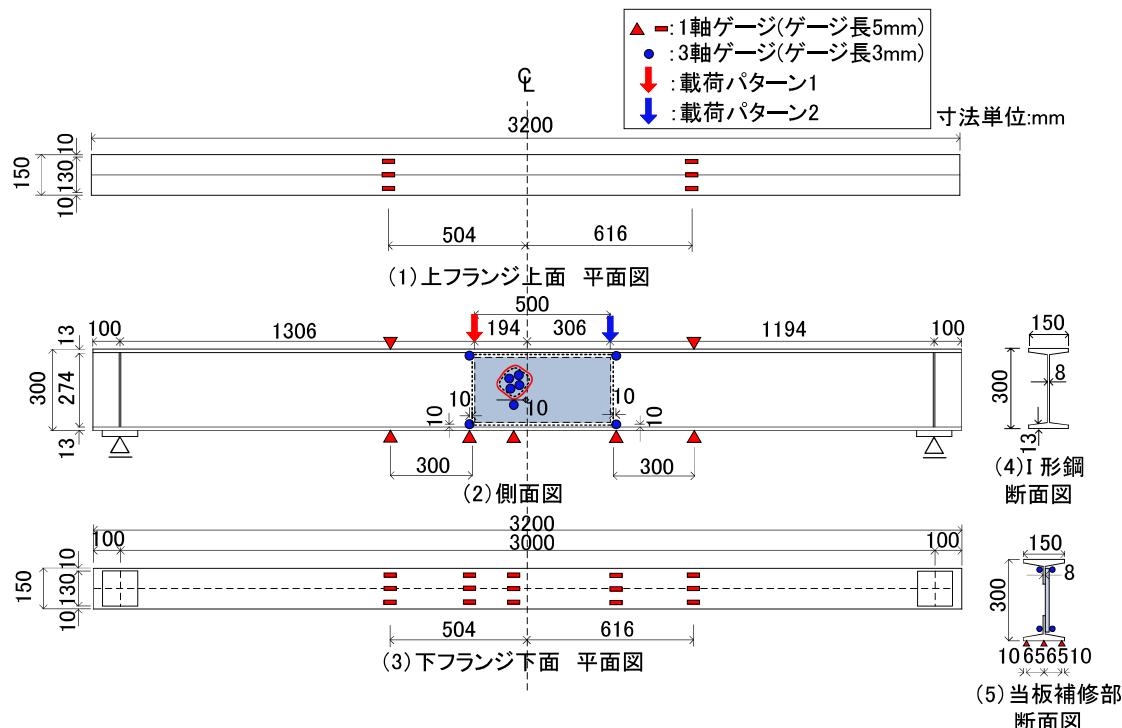


図1. S2 試験体の形状と寸法

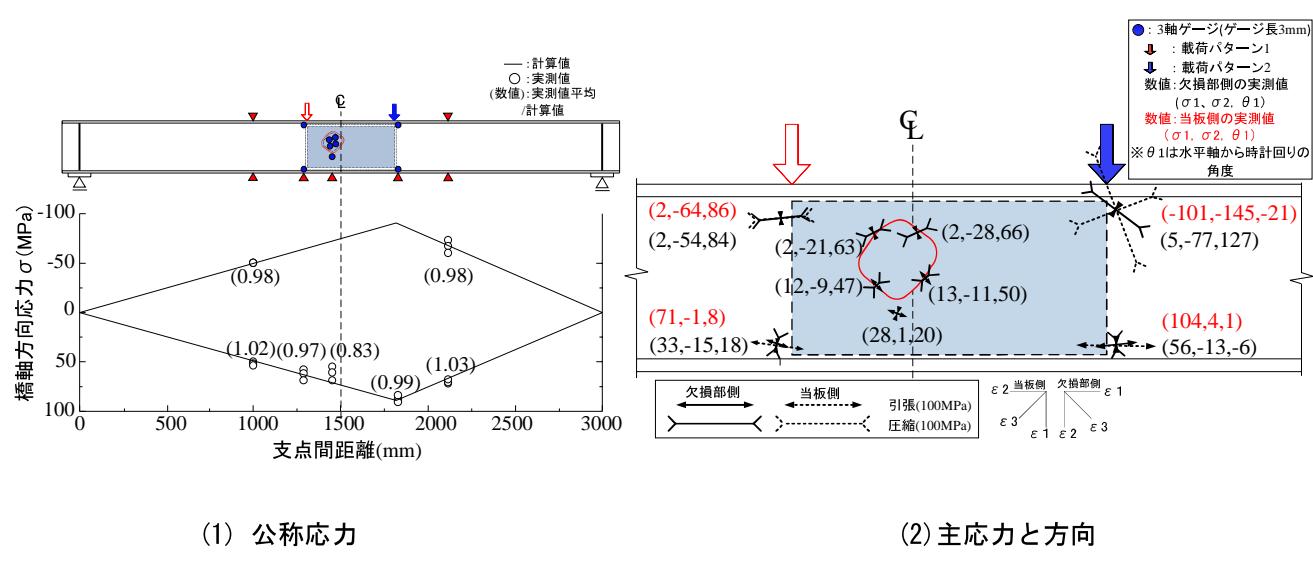
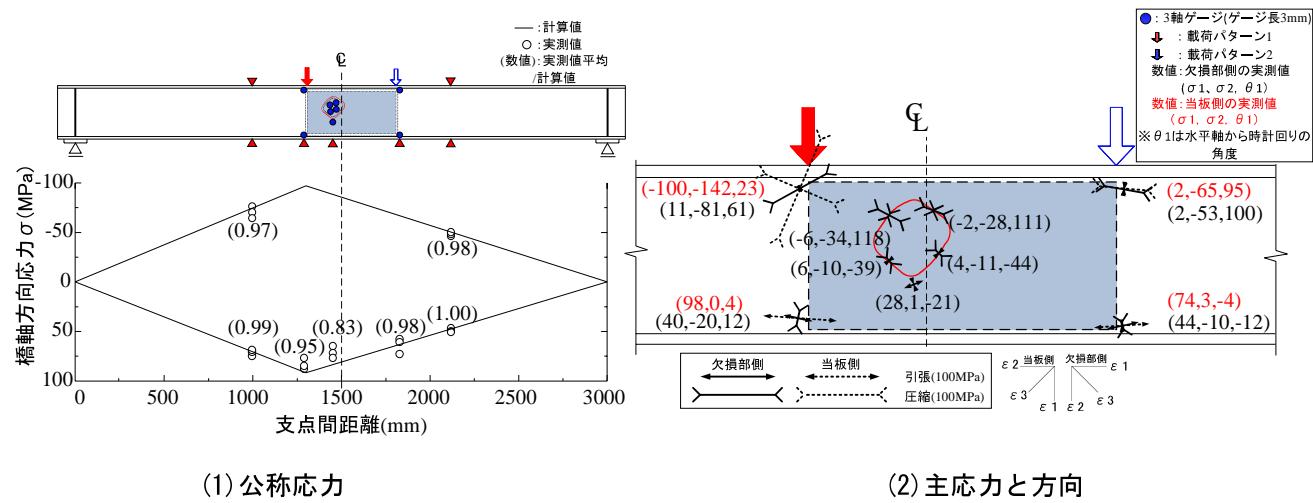
公称応力測定用にゲージ長5mmの1軸ゲージを当板溶接止端部から300mm離れた位置の上フランジ上面と下フランジ下面、さらに当板溶接止端部から10mmの位置の下フランジ下面とウェブの3軸ゲージ直下の下フランジ下面にそれぞれ貼付した。また、主応力測定用にゲージ長3mmの3軸ゲージを、ウェブ側と当板側の溶接止端部から10mmの位置に数箇所貼付した。載荷荷重範囲 $\Delta P$ は鋼材SS400の許容応力度(140MPa)を考慮して試験体に生じる最大応力が100MPa以下となるように設定し、当板の両端2箇所を静的に載荷した。

キーワード 上路トラス橋、横桁-縦桁、すみ肉溶接、当板溶接補修、疲労強度

連絡先 〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35 関西大学環境都市工学部 06-6368-1111(内線)6506

## 2.2 静的載荷試験結果

図2に載荷パターン1での各ゲージ位置での実測値と主応力を、図3に載荷パターン2での各ゲージ位置の実測値と主応力を示す。



上下フランジの測定値は梁理論による計算値と概ね一致している。当板補修部周辺の主応力分布を見ると、載荷点直下の当板端部で鉛直方向に-140MPa程度の大きな圧縮応力が生じており、引張側では載荷点直下の下フランジ側の当板端部で水平方向に100MPa程度生じている。切欠き縁周辺部の主応力は、圧縮で最大-30 MPa程度、引張では最大でも30MPa弱程度であり、静的載荷試験結果からみると、疲労き裂は載荷位置に近い位置の上下のどちらかの当板溶接端部から生じ、ウェブの欠損部からは生じにくいと予想される。

## 3. おわりに

疲労実験はこれから行い、結果については講演時に発表する予定である。

## 参考文献

- (社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，2002，3。